

Barbara TUMIDAJEWICZ

#### WPLYW LOKALNEGO ZAPADLIKA TERENU NA PRACE STATYCZNE PODZIEMNEGO RUROCIĄGU

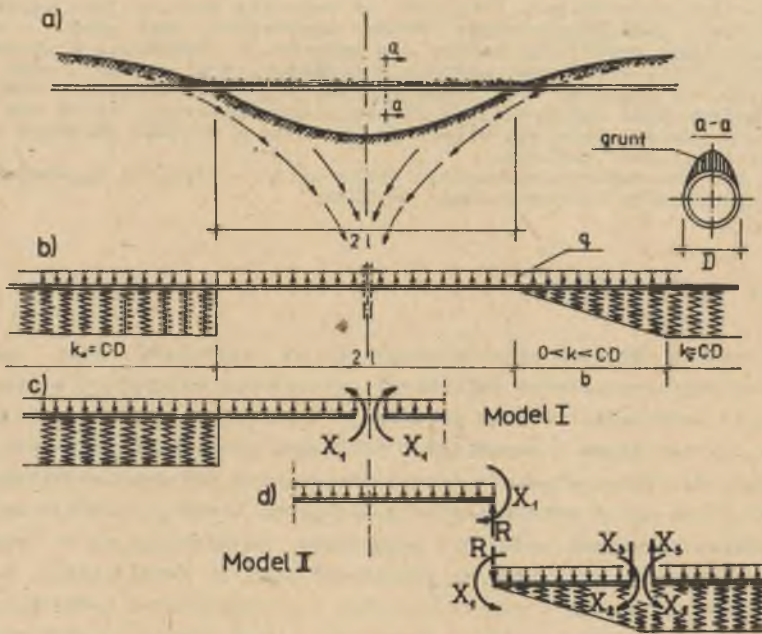
Streszczenie. W publikacji poddano analizie wpływ deformacji nieciągłych w postaci lejów i zapadlik na pracę statyczną ciągłego rurociągu podziemnego. Przyjęto, iż rurociąg pracuje jako belka osadzona w jednoparametrowym ośrodku sprężystym, przy czym w miejscu lokalnego zapadlika tworzy się przęsło. W rozważaniach wprowadzono dwa modele współpracy ustroju z podłożem. W pierwszym z nich przyjęto, iż rurociąg poza przęsłem oparty jest na gruncie o stałej charakterystyce sprężystej. W drugim modelu założono, że po obu stronach przęsła istnieją strefy przejściowe o liniowo zmiennym wskaźniku podatności podłoża. W obu przypadkach wyznaczono linie ugięć i wartości uogólnionych sił wewnętrznych rozpatrywanego ustroju.

#### 1. WSTĘP

Na terenach objętych wpływem eksploatacji górniczej mogą wystąpić, oprócz charakterystycznych deformacji powierzchni związanych z tworzeniem się niecki osiadania, również deformacje lokalne, w postaci miejscowych uskoków czy też lejów i zapadlik o niedużych stosunkowo wymiarach rzutu poziomego. Groźba powstawania takich miejscowych zaburzeń, określonych często jako "nieciągłe" odkształcenia powierzchni terenu, istnieje na ogół w szeregach warunkach wodnych i gruntowych. Najczęściej są to przypadki związane z płytką eksploatacją, pozostałościami po eksploatacji w formie niepodszczepionych pustek w górotworze oraz z występowaniem luźnych, sypkich gruntów łatwo poddających się wpływowi pionowego przepływu wód opadowych, przenikających do wnętrza warstw gruntowych [4], [5]. Miejsca przewidywanego występowania omawianych lejów i zapadlik oraz ich wymiary nie dają się przewidzieć w sposób ścisły. Informacje te podawane są z pewnym stopniem prawdopodobieństwa.

Wpływ tworzącego się lokalnego zapadlika na budowlę jest wpływem zasadniczym, często bardziej istotnym niż wpływy związane z tworzącą się niecką osiadania [1], [2], [3]. W odniesieniu do budowli wpływ ten bowiem sprządza się, wobec lokalnego usuwania się masy gruntu, do pozbawienia części fundamentów obiektu podtrzymującego je podłoża gruntowego. W przypadku braku odpowiedniej odporności konstrukcyjnej, tak wytworzona sytuacja może doprowadzić do awarii budowli.

W obecnym opracowaniu rozpatrzono istotę wpływu lokalnie tworzącego się lejka na trasie istniejącego podziemnego rurociągu. Przyjęto, iż konstrukcja rurociągu jest ciągła, niedylatowana (na przykład rurociąg stalowy). Założono więc dla rurociągu, że pracuje on w schemacie belki o zadanej sztywności giętej  $EJ$ , w której w miejscu wytworzonego zapadliska powstało przeszło obciążone ciężarem własnym, ciężarem medium prowadzonego przez rurociąg, a także pozostałością gruntu zatrzymanego przez rurę w osi przesuwania się w dół mas gruntu otaczających rurociąg przy lokalnym zapadaniu się terenu (rys. 1a). Przyjęto, iż po obu stronach utworzonego



Rys. 1

prześnia rozpatrzona belka osadzona jest w jednoparametrowym ośrodku sprężystym, a więc jest belką spoczywającą na winklerowskim podłożu gruntowym. W rozważaniach wprowadzono dwa modele współpracy ustroju z podłożem. W pierwszym z nich (rys. 1b) założono, iż gałęzie rozpatrywanego ustroju po obu stronach przeszła o rozpiętości  $2l$  (w geometrycznym obrębie zapadliska) oparte są na podłożu o stałej charakterystyce sprężystej. Rozważono również jednak drugi model (rys. 1d), w którym po obu stronach tworzącego się przeszła występują strefy przejściowe o narastającym od zera do pewnej stałej wartości wskaźniku podatności podłoża. Przyjęcie takiego modelu ma

ogólne uzasadnienie, trudno bowiem oczekiwać, jak to założono w modelu pierwszym, iż grunt zachowuje w obu stronnych strefach przyozólkowych pełną wartość cechy podatności, spadającą nagle do wartości zerowej w punkcie początkowym przesła. Innym problemem jest przy tym ocena długości tejże strefy przejściowej, czy też przyjęcie liniowej zmienności cech gruntu na tym odcinku. Jako założenie w dalszych rozważaniach przewiduje się słuszność operowania strefą przejściową o długości w granicach 1/2 do 1/3 rozpiętości przesłowej.

W dalszej części opracowania przytoczono sposób postępowania przy rozwiązywaniu obu modeli, dążąc do wyznaczenia linii ugięć i wartości uogólnionych sił wewnętrznych.

## 2. PRACA RUROCIĄGU PRZY ZAŁOŻENIU BRAKU STREF PRZEJŚCIOWYCH (MODEL I)

Rozpatrzone obecnie model rurociągu podziemnego, uwzględniający występowanie dwóch stref, a mianowicie strefy nadwieszzonej oraz strefy oparcia wstęgi rurociągu na podłożu o stałym współczynniku podatności.

Zgodnie ze schematem zastępozym (rys. 10) jedyną niewiadomą wyznacza się z równania:

$$X_1 = - \frac{\Delta_{1q}}{\delta_{11}}, \quad (1)$$

gdzie:

$$\delta_{11} = \frac{1}{EJ} \left( \frac{1}{L} + 1 \right) \quad (2)$$

oraz

$$\Delta_{1q} = \frac{q \cdot l}{2EJ} \left[ \frac{1}{L} \left( \frac{1}{L} + 1 \right) + \frac{1}{3} \right] \quad (3)$$

przy oznaczeniu

$$L = \sqrt{\frac{k_0}{4 EJ}}$$

Wstawiając wyrażenia (2) i (3) do (1) otrzymuje się:

$$X_1 = - \left[ \frac{q l}{2L} + \frac{q l^3}{6 \left( \frac{1}{L} + 1 \right)} \right]. \quad (4)$$

Momenty zginające wyznacza się:

- dla części nadwieszzonej

$$M(x) = \frac{q l}{2L} + \frac{q l^3}{6 \left( \frac{1}{L} + 1 \right)} - \frac{1}{2} q x^2 \quad (5)$$

- zaś dla części spoczywającej na podłożu sprężystym

$$M(x) = -\frac{q_1}{L} e^{-Lx} \sin Lx - \left[ \frac{q_1^2}{2} - \frac{q_1}{2L} - \frac{q_1^3}{6(\frac{1}{L}+1)} \right] (\cos Lx + \sin Lx) e^{-Lx} \quad (6)$$

Równanie linii ugięcia otrzymuje się ze związku między momentem zginającym a ugięciem:

- dla części nadwieszanej

$$EJy(x) = \frac{1}{24} qx^4 - \frac{1}{2} X_1 x^2 + \frac{q_1}{4L} \left[ \frac{1}{L} \left( \frac{1}{L} + 1 \right) + 1^2 \left( 1 + \frac{1}{2} \frac{L}{L} \right) \right] + \\ - \frac{q_1^3}{6(\frac{1}{L} + 1)} \left( \frac{1}{2L^2} + \frac{1}{L} + \frac{1^2}{2} \right), \quad (7)$$

- dla części spoczywającej na podłożu sprężystym:

$$EJy(x) = \frac{q_1}{2L^3} e^{-Lx} \cos Lx + \left( \frac{q_1^2}{4L^2} - \frac{X_1}{2L^2} \right) e^{-Lx} (\cos Lx - \sin Lx) \quad (8)$$

### 3. PRACA RUROCIĄGU PRZY ZAŁOŻENIU STREF PRZEJŚCIOWYCH (MODEL II)

W modelu II wprowadzono pomiędzy strefą przeszłą a strefą oparcia rurociągu na podłożu o stałym współczynniku sprężystości strefę przejściową, charakteryzującą się linowo zmienną cechą podatności podłoża (rys. 1b). Rozwiązanie przyjętego układu (rys. 1d) przeprowadzono metodą sił, zakładając w punktach początkowym i końcowym strefy przejściowej niewiadome oddziaływania w postaci momentów  $X_1$  i  $X_2$  oraz siły  $X_3$ . Wpływ części przeszłej zastąpiono znanym oddziaływaniem  $R = q \cdot l$ , które wraz z obciążeniem równomiernie rozłożonym stanowi obciążenie zewnętrzne rozważanego przedziału przejściowego.

Układ trzech równań kanonicznych ma postać:

$$\delta_{ik} X + \Delta = 0. \quad (9)$$

Składowe przemieszczeń, zarówno od obciążeń jednostkowych jak i zewnętrznych, dotyczące przęsła środkowego oraz półwstęgi na stałym podłożu, są łatwe do wyznaczenia. Bliższego rozważenia wymaga natomiast sprawa określenia przemieszczeń w obrębie strefy przejściowej.

Fakt uwzględnienia zmienności podatności podłoża stanowi istotne utrudnienie w przypadku rozwiązania problemu w sposób ścisły, bowiem równanie równowagi rozpatrywanego elementu jest równaniem różniczkowym o zmiennych współczynnikach i znalezienie jego całki napotyka na znaczne trudności. Po-

szukiwanie odkształconej układu przeprowadzono więc w sposób przybliżony, metodą energetyczną. Ma być więc spełnione równanie

$$dU = d(V-T), \quad (10)$$

gdzie  $V$  jest energią sprężystą układu, zaś  $T$  obrazuje pracę obciążających go sił zewnętrznych. Składniki równania (10) są następującymi funkcjami linii ugięcia:

- energia sprężysta układu przy zginaniu

$$V = \int_0^b \frac{M^2}{2EJ} dx = \frac{1}{2} \int_0^b EJ [y''(x)]^2 dx, \quad (11)$$

- praca sił zewnętrznych wraz z reakcjami podłoża

$$T = \int_0^b f(x) \cdot y(x) dx - \frac{1}{2} \int_0^b k(x) \cdot y^2(x) dx, \quad (12)$$

przy czym poszczególne symbole oznaczają:

$y(x)$  - równanie osi odkształconej zginanej belki,

$f(x)$  - funkcja opisująca rozkład obciążeń zewnętrznych,

$k(x)$  - funkcja opisująca zmienność charakterystyki sprężystej podłoża.

Uwzględniając (11) i (12), równanie (10) ma więc postać

$$U_1 = 2U = \int_0^b \left\{ EJ [y''(x)]^2 + k(x) \cdot y^2(x) - 2f(x)y(x) \right\} dx \quad (13)$$

Rozwiązanie funkcyjne (13) przewidziano jako szereg algebraiczno-trygonometryczny spełniający wszystkie warunki brzegowe, zapisany w następującej ogólnej postaci

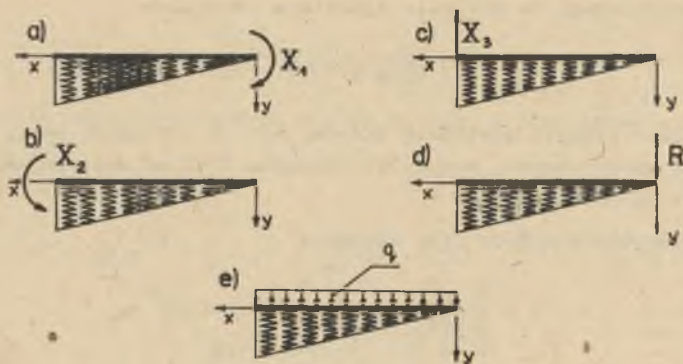
$$y(x) = f(x, a_1, a_2, \dots, a_n). \quad (14)$$

Współczynniki  $a_1, a_2, \dots, a_n$  powinny spełniać "n" równań:

$$\frac{dU_1}{da_m} = 0 \quad m = 1, 2, \dots, n. \quad (15)$$

Dokładność rozwiązania zależy zarówno od trafnego przewidzenia ogólnego przebiegu linii ugięcia, jak również od przyjętej liczby wyrazów szeregów (14).

Ze względu na superpozycję wpływu obciążeń  $X_1 (i = 1, 2, 3)$ ,  $R$  i  $q$  utworzono w pierw pięć podstawowych układów (rys. 2), dla których kolejno założono równania linii ugięcia  $y_n(x)$ , określono funkcyjnie metody energetycznej i poprzez jego minimalizację znaleziono współczynniki przyjętego w ogólnej postaci równania  $y_n(x)$ .



Rys. 2

Założone postacie równań ugięcia, wyniki pośrednich etapów obliczeń oraz otrzymane wartości poszukiwanych współczynników równań  $y_n(x)$  zestawiono w poniższych tablicach.

Uzyskane wartości współczynników założonych równań ugięcia  $y_n(x)$  dla  $n = 1, \dots, 5$  pozwalają już na obliczenie wartości przemieszczeń  $\delta_{ik}$  i  $\Delta$  występujących w równaniu kanonicznym (9).

Geometryczny sens tych przemieszczeń przedstawiono na rys. 3, zaś ich postać algebraiczną podano poniżej:

- przemieszczenia od obciążeń jednostkowych

$$\delta_{11} = \delta_{11}^{(1)} + \delta_{11}^{(2)} = y_1'(x) \Big|_{\substack{x=0 \\ X_1=1}} + y_6'(x) \Big|_{\substack{x=0 \\ X_1=1}} \quad (16)$$

$$\delta_{22} = \delta_{22}^{(1)} \quad \delta_{22}^{(2)} = y_2'(x) \Big|_{\substack{x=b \\ X_2=1}} + y_7'(x) \Big|_{\substack{x=0 \\ X_2=1}} \quad (17)$$

$$\delta_{33} = \delta_{33}^{(1)} \quad \delta_{33}^{(2)} = y_3(x) \Big|_{\substack{x=b \\ X_3=1}} + y_8(x) \Big|_{\substack{x=0 \\ X_3=1}} \quad (18)$$

Tablica 1

Założone równania  $y_n(x)$ 

nr rysunku	Równanie ugięcia $y_n(x)$
1 rys. 2a	$y_1(x) = A_1 - Bx - C_1 \cos \frac{x}{2b} - D_1 \cos \frac{3x}{2b}$
2 rys. 2b	$y_2(x) = A_2 + Bx + C_2 \sin \frac{x}{2b} + D_2 \sin \frac{3x}{2b}$
3 rys. 2c	$y_3(x) = A_3 + Bx - C_3 \sin \frac{x}{b} + D_3 \sin \frac{3x}{b}$
4 rys. 2d	$y_4(x) = A_4 + Bx - C_4 \sin \frac{x}{b} + D_4 \sin \frac{3x}{b}$
5 rys. 2e	$y_5(x) = A_5 - Bx - C_5 \sin \frac{x}{b} + D_5 \sin \frac{3x}{b}$

Tablica 2

Postać funkcjonału energetycznego (\*)

numer schematu	Funkcjonał energetyczny $U_1^{(n)}$
1	$U_1^{(n)} = [0,5A_1^2 + 0,25B_1^2 + (0,1487 + 3044\alpha)C_1^2 + (0,2387 + 2465667\alpha)D_1^2 + 0,667A_1B_1b - 0,4626A_1C_1 + 0,5144A_1D_1 + 0,2412B_1C_1b + 0,3867B_1D_1b - 0,2026C_1D_1]kb - 2XB_1$
2	$U_1^{(n)} = [0,5A_2^2 + 0,25B_2^2 + (0,3513 + 3044\alpha)C_2^2 + (0,2613 + 2465667\alpha)D_2^2 + 0,667A_2B_2b + 0,8106A_2C_2 - 0,09A_2D_2 + 0,5891B_2C_2b + 0,2184B_2D_2b - 0,2026C_2D_2]kb - 2XB_2$
3	$U_1^{(n)} = [0,5A_3^2 + 0,25B_3^2 + (0,25 + 48,705\alpha)C_3^2 + (0,25 + 3945,07\alpha)D_3^2 + 0,667A_3B_3b - 0,6366A_3C_3 + 0,2122A_3D_3 - 0,3786B_3C_3b + 0,2026B_3D_3b + 0,1801C_3D_3]kb - 2XB_3(A_3 + B_3b)$
4	$U_1^{(n)} = [0,5A_4^2 + 0,25B_4^2 + (0,25 + 48,705\alpha)C_4^2 + (0,25 + 3945,07\alpha)D_4^2 + 0,667A_4B_4b - 0,6366A_4C_4 + 0,2122A_4D_4 - 0,3786B_4C_4b + 0,2026B_4D_4b + 0,1801C_4D_4]kb - 2RA_4$
5	$U_1^{(n)} = [0,5A_5^2 + 0,25B_5^2 + (0,703 + 48,705\alpha)C_5^2 + (0,5 + 779273\alpha)D_5^2 + 0,667A_5B_5b - 0,6366A_5C_5 - 0,3183A_5D_5 - 0,3786B_5C_5b + 0,3183B_5D_5b + 0,1801C_5D_5]kb - [2A_5 - B_5b + 12732C_5]qb$

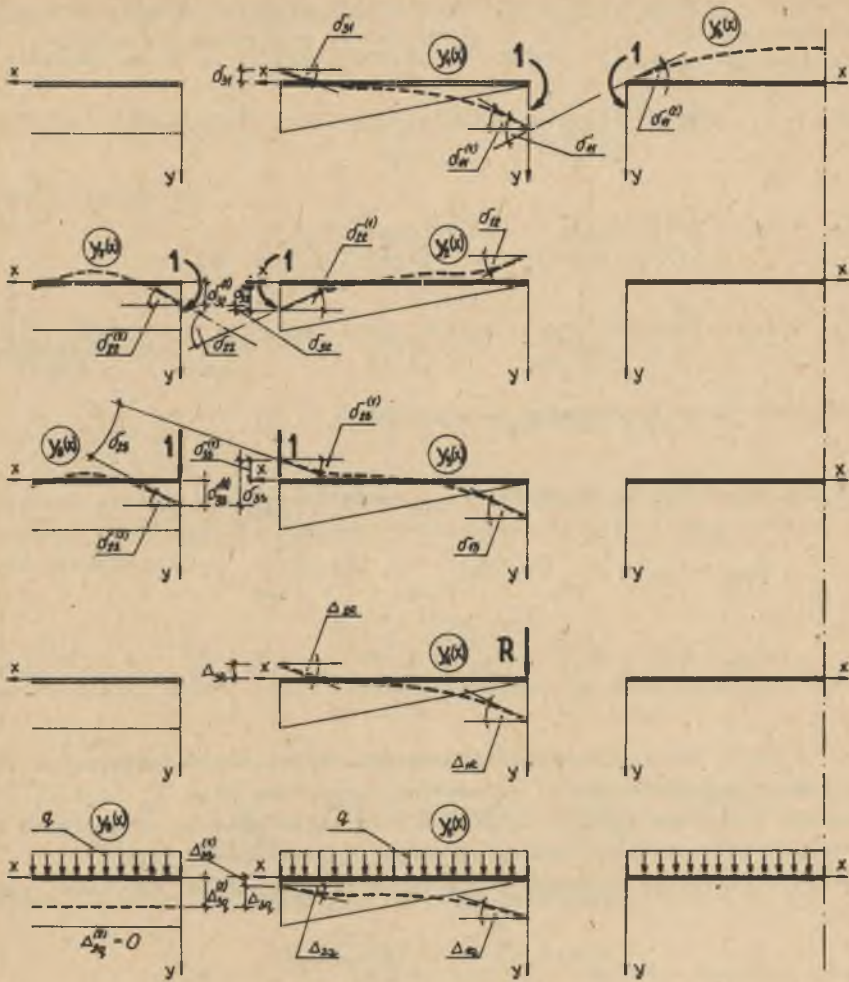
(\*) Równania wyznaczone wg wzoru (13)

Tablica 3

Wartości współczynników  $A_n(B, C, D) = m_1 \cdot \frac{m_2}{m_3}$  równań  $y_n(x)$

row- nanie	współ- czynniki	$m_1$	$m_2$	$m_3$
$y_1(x)$	$A_1$	$\frac{X_1}{k_1 b^2}$	$302791,46x^2 + 6575,72x + 251$	$12616,32x^2 + 889x + 0,000352$
	$B_1$	$\frac{X_2}{k_1 b^2}$	$454187,25x^2 + 6415,53x + 249$	
	$C_1$	$\frac{X_3}{k_1 b^2}$	$-0,1x^2 + 5013,41x + 1,93$	
	$D_1$	$\frac{X_4}{k_1 b^2}$	$39,86x + 0,19$	
$y_2(x)$	$A_2$	$\frac{X_1}{k_2 b^2}$	$-987649,03x^2 + 125156x - 0,313$	$41152,04x^2 + 2337x + 0,001$
	$B_2$	$\frac{X_2}{k_2 b^2}$	$1481472,41x^2 + 1263301x + 324$	
	$C_2$	$\frac{X_3}{k_2 b^2}$	$x^2 - 11881,16x - 2,23$	
	$D_2$	$\frac{X_4}{k_2 b^2}$	$475,58x + 0,44$	
$y_3(x)$	$A_3$	$\frac{X_1}{k_3 b^2}$	$-34137,15x^2 + 17,19x + 0,0043$	$5689,52x^2 + 369x - 0,0002$
	$B_3$	$\frac{X_2}{k_3 b^2}$	$68274,30x^2 + 17,54x - 0,0035$	
	$C_3$	$\frac{X_3}{k_3 b^2}$	$-0,001x^2 + 33,51x + 0,0030$	
	$D_3$	$\frac{X_4}{k_3 b^2}$	$-0,836x - 0,0016$	
$y_4(x)$	$A_4$	$\frac{R}{k_4 b^2}$	$10240,79x^2 + 22,92x - 0,00008$	$568,94x^2 + 0,36x - 0,00004$
	$B_4$	$\frac{R}{k_4 b^2}$	$-1364,42x^2 - 20,13x + 0,0008$	
	$C_4$	$\frac{R}{k_4 b^2}$	$-0,052x^2 + 13,82x + 0,000085$	
	$D_4$	$\frac{R}{k_4 b^2}$	$0,075x - 0,0004$	
$y_5(x)$	$A_5$	$\frac{q}{k_5}$	$4495396,9x^2 + 72655,8x + 36,44$	$749232,8x^2 + 7545,6x + 388$
	$B_5$	$\frac{q}{k_5}$	$4495396,9x^2 + 64304,0x + 33,63$	
	$C_5$	$\frac{q}{k_5}$	$23083,9x + 10,309$	
	$D_5$	$\frac{q}{k_5}$	$-0,962$	





Rys. 3

Wynikającą z przybliżonego charakteru metody obliczeń różnicę między przemieszczeniami typu  $\delta_{ik}$  i  $\delta_{ki}$  zniwelowano, przyjmując do dalszych rozważań wartości średnie:

$$\delta_{13} = \delta_{31} = \frac{1}{2} \left[ y_3'(x) \Big|_{\substack{x=0 \\ X_3=1}} + y_1'(x) \Big|_{\substack{x=b \\ X_1=1}} \right], \quad (19)$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \frac{1}{2} \left[ y_2'(x) \Big|_{\substack{x=0 \\ X_2=1}} + y_1'(x) \Big|_{\substack{x=b \\ X_1=1}} \right], \quad (20)$$

$$\delta_{23} = \delta_{32} = \frac{1}{2} \left\{ \left[ y_3'(x) \Big|_{\substack{x=b \\ X_3=1}} - y_8'(x) \Big|_{\substack{x=0 \\ X_3=1}} \right] + \left[ y_2(x) \Big|_{\substack{x=b \\ X_2=1}} - y_7(x) \Big|_{\substack{x=0 \\ X_2=1}} \right] \right\} \quad (21)$$

- przemieszczenia od obciążeń zewnętrznych

$$\Delta_{1p} = \Delta_{1R} + \Delta_{1q} = y_4'(x) \Big|_{x=0} + y_5'(x) \Big|_{x=0}, \quad (22)$$

$$\Delta_{2p} = \Delta_{2R} + \Delta_{2q} = y_4'(x) \Big|_{x=b} + y_5'(x) \Big|_{x=b}, \quad (23)$$

$$\Delta_{3p} = \Delta_{3R} + \Delta_{3q}^{(2)} - \Delta_{3q}^{(1)} = y_4(x) \Big|_{x=b} + y_9(x) \Big|_{x=b} - y_5(x) \Big|_{x=b} \quad (24)$$

gdzie  $y_i(x_i)$ ,  $i=1, \dots, 9$  są liniami ugięcia belek przedstawionych na rys. 3. Rozwiązując układ równań (9) wyznaczono niewiadome siły  $X_i$  ( $i=1, \dots, 3$ ), a następnie określono momenty zginające oraz linie ugięcia od obciążeń rzeczywistych we wszystkich trzech strefach rozpatrywanego układu.

Równania momentów zginających w poszczególnych strefach, napisane według reguły

$$M(x) = \sum_{i=1}^3 [X_i \cdot M_i(1)] + M(P), \quad (25)$$

wyrażone są wzorami

- strefa podparcia na ciągłym podłożu sprężystym

$$M(x) = -X_3 L^{-1} e^{-Lx} \sin Lx - X_2 e^{-Lx} (\cos Lx + \sin Lx) \quad (26)$$

- strefa przejściowa

$$M(x) = -EJ \left\{ \sum_{i=1}^3 \left[ X_i y_1'(x) \Big|_{X_i=1} \right] + y_4''(x) + y_5''(x) \right\}, \quad (27)$$

- strefa przęsłowa

$$M(x) = -\frac{1}{2} qx^2 - X_1 + Rx. \quad (28)$$

Równania ugięcia dla rozpatrywanych stref ustroju są postaci

- strefa podparcia na ciągłym podłożu sprężystym

$$y_I(x) = \frac{q}{k_0} + \frac{X_2}{2L^2 EJ} e^{-Lx} (\cos Lx - \sin Lx) + \frac{X_3}{2L^3 EJ} e^{-Lx} \cos Lx \quad (29)$$

- strefa przejściowa

$$y_{II}(x) = \sum_{i=1}^3 [X_i y_i(x)] \Big|_{X_i=1} + y_4(x) + y_5(x), \quad (30)$$

- strefa przęsłowa

$$y_{III}(x) = \frac{1}{EJ} \left[ \frac{1}{24} q x^4 + \frac{1}{2} X_1 x^2 - \frac{1}{6} R \cdot x + \left( \frac{1}{3} q a - X_a \right) x + y_{II}(0) \right], \quad (31)$$

Dla części ustroju opartej na gruncie i to zarówno na odcinku o stałym jak i zmiennym współczynniku podatności określono rozkład odporu podłoża  $r(x)$  według relacji

$$r(x) = k(x) \cdot y(x). \quad (32)$$

Zatem równania funkcji odporu w poszczególnych strefach wyrażano następująco:

- strefa o stałym współczynniku podatności gruntu  $k_0$

$$r_I(x) = q + \frac{X_2 k_0}{2L^2 EJ} e^{-Lx} (\cos Lx - \sin Lx) + \frac{X_3 k_0}{2L^3 EJ} e^{-Lx} \cos Lx, \quad (33)$$

- strefa o liniowo zmiennym współczynniku podatności  $k(x) = k_0 \frac{x}{b}$

$$r_{II}(x) = k_0 \frac{x}{b} \left\{ \sum_{i=1}^3 [X_i y_i(x)] \Big|_{X_i=1} + y_4(x) + y_5(x) \right\}. \quad (34)$$

#### 4. PRZYKŁAD OBLICZENIOWY

Rozpatrzono rurociąg stalowy, ciągły o średnicy  $\varnothing 500$  i grubości ścianki  $g = 0,006$  m, dla którego  $J = \pi \cdot r^3 \cdot g = 0,003$  m<sup>4</sup>. Moduł sprężystości  $E = 210\,000$  MN/m<sup>2</sup>. Obciążenie równomiernie rozłożone  $q = 0,01$  MN/m. Zadanie przeprowadzono dwukrotnie, a więc według rozpatrywanego modelu pierwszego, w którym przyjęto rozpiętość przęsła  $b = 4,0$  m i stałą wartość wskaźnika podłoża  $C = 50$  MN/m<sup>3</sup>, więc  $k_0 = C \cdot D = 25$  MN/m<sup>2</sup>,  $L = \sqrt[4]{\frac{k_0}{EJ}} = 0,5638 \frac{1}{m}$ , a następnie rozwiązano zadanie według modelu II, o danych:

$a = 3,0 \text{ m}$ ,  $b = 4,0 \text{ m}$ , a więc  $\kappa = \frac{EJ}{k_0 b^4} = 0,0097$ ,  $L = \frac{1}{b} \sqrt[4]{\frac{1}{\kappa}} = 0,5638 \frac{1}{\text{m}}$ . Dla

rozpatrywanych modeli I i II oraz dla przyjętych danych wyznaczono wykresy momentów zginających  $M(x)$  według równań (26), (27), (28) i wykresy linii ugięcia  $y(x)$  według równań (29), (30), (31), które przedstawiono na rys. 4.

#### LITERATURA

- [1] Ledwoń J.A.: Posadowienie budynków halowych na terenach zapadliskowych. OTG Nr 44/1978.
- [2] Ledwoń J.A.: Posadowienie budynków mieszkalnych na terenach zapadliskowych. OTG Nr 48/1979.
- [3] Ledwoń J.A.: Budownictwo na terenach o deformacjach lokalnych (nieciągłych). Konferencja Naukowa nt. "Podstawy teoretyczne i eksperymentalne budownictwa na terenach górniczych". KJLiU PAN Katowice, listopad 1979.
- [4] Sachs J.: Metoda prognozowania nieciągłych deformacji powierzchni ziemi na terenach górniczych. Konferencja Naukowo-Techniczna nt.: "Problemy budownictwa na terenach zapadliskowych". Częstochowa, czerwiec 1978.
- [5] Świądrowski W.: Zabudowa terenów zagrożonych nieciągłymi odkształceniami powierzchni. OTG Nr 43/1978.

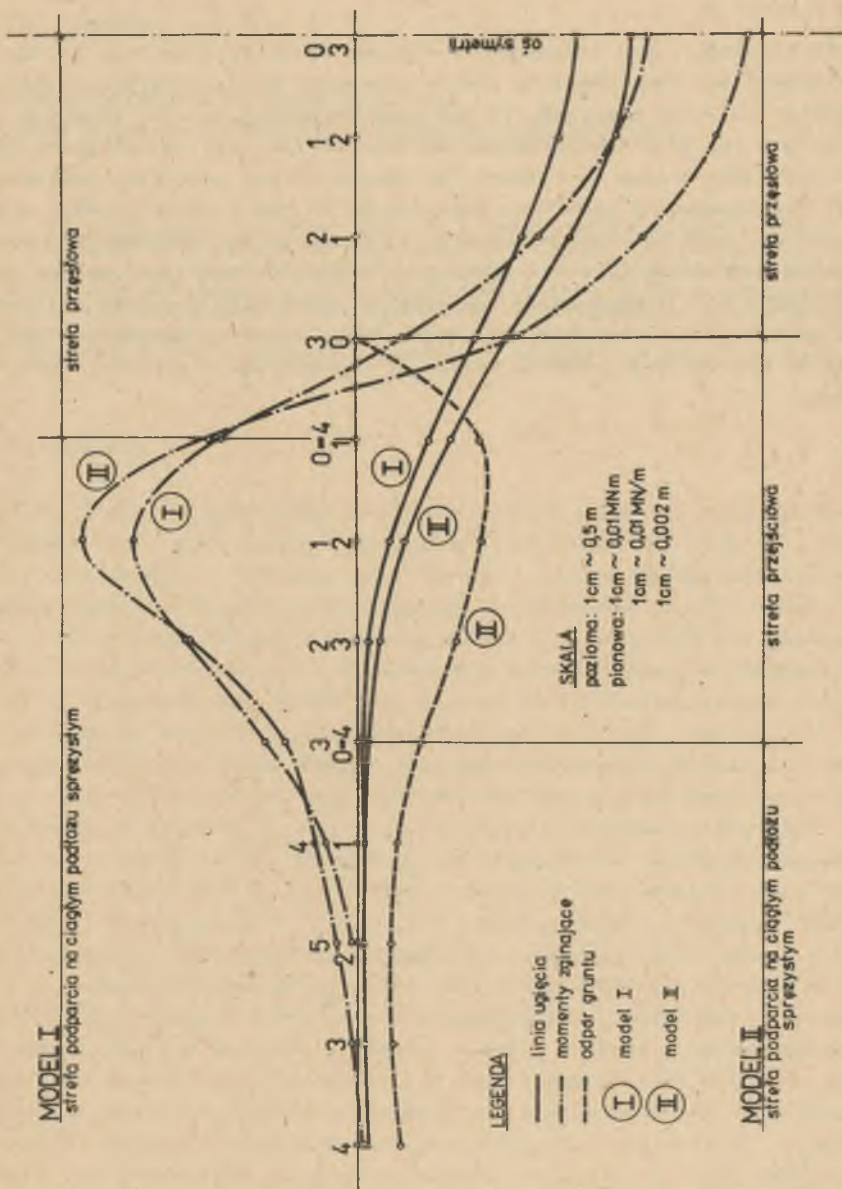
Recenzent: Doc. dr inż. Hubert Przybyła

Wpłynęło w listopadzie 1980 r.

#### ВЛИЯНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ ВПАДИНЫ ТЕРРИТОРИИ НА СТАТИЧЕСКУЮ РАБОТУ ПОДЗЕМНОГО ТРУБОПРОВОДА

##### Резюме

В работе проведен анализ влияния несплошных деформаций в виде воронок и впадин на статическую работу сплошного подземного трубопровода. Принято, что трубопровод работает как балка, уложенная в упругую среду одного параметра, причем в месте локальной впадины образуется пролет. Для рассуждений взяты две модели совместной работы системы с основанием. В первой из них принимается, что трубопровод вне пролета опирается на грунт с постоянной упругой характеристикой. Во второй модели по исходным данным по обеим сторонам пролета существуют переходные зоны с линейно переменным показателем податливости основания. В обоих случаях установлены линии прогибов и определены значения обобщенных внутренних сил рассматриваемой системы.



Rys. 4

---

THE EFFECT OF A GROUND LOCAL SINK HOLE ON STATIC OPERATION  
OF AN UNDERGROUND PIPELINE

S u m m a r y

In the paper, the influence of discontinuous deformations in the form of craters and sink holes on static operation of an underground continuous pipeline has been analysed. It has been assumed, that the pipeline is like a beam set in a one-parameter elastic medium, and in the place of local sink hole a span is formed. Two models of the structure collaboration with the foundation have been introduced. In the first one, the pipeline beyond the span has been assumed to be based on the ground of constant elastic characteristics. In the second model, it has been assumed that on both sides of the span there are transit zones with linearly variable index of ground deformability. In both cases, lines of deflection and values of generalized internal forces of the discussed structure have been given.